

Valutazione integrata, a fini gestionali, delle dune costiere: metodologia e caso studio

Umberto Simeoni, Enrico Mazzini, Umberto Tessari e Paolo Ciavola

Dipartimento di Scienze Geologiche e Paleontologiche, Università degli Studi di Ferrara,
C.so Ercole I d'Este 32, 44100 Ferrara.

Riassunto

Sul litorale sabbioso di Lesina e Varano (Basso Adriatico), caratterizzato da un regime microtidale a bassa energia, è stato condotto uno studio per approntare una metodica per la gestione delle dune costiere. Sono dune dinamiche, spesso vegetate, risultanti da un solo vento dominante, riferibile al IV quadrante. La morfologia ed il clima marino inquadrano il litorale in un sistema di tipo dissipativo, con una prevalente deriva litoranea verso meridione. Su di esso nell'ultimo cinquantennio si sono instaurati preoccupanti trends erosivi della costa, collegabili soprattutto al diminuito apporto solido dei fiumi Biferno e Fortore che la alimentano.

Applicando al litorale la Teoria dei Sistemi, opportunamente estesa, sono stati studiati i rapporti che intercorrono tra fattori e processi nell'ambito evolutivo del sistema spiaggia-duna. A tale scopo sono stati selezionati 14 parametri ritenuti qualificanti per la definizione del sistema: 4 per descrivere le caratteristiche meteomarine, 1 per quelle evolutive, 2 per quelle sedimentologiche, 5 per quelle morfologiche e 2 per quelle biologiche. Quindi attraverso alcune procedure metodologiche, è stata definita la loro interattività e dominanza.

Dopo l'analisi generale del sistema, la stessa procedura è stata applicata su 10 tratti costieri, sufficientemente omogenei. Per ognuno, descritto dai 14 parametri selezionati, sono stati ricavati degli indici comparativi di instabilità delle dune, e le specifiche intensità di interazione e dominanze parametriche. Ciò ha consentito di suggerire interventi puntuali e diversificati, sulla base delle peculiarità parametriche dei diversi tratti in cui era stato suddiviso il litorale.

Con questo approccio, tuttavia, permangono alcune incertezze riguardo ai possibili effetti degli interventi programmati dovute essenzialmente alle concatenazioni causa-effetto, poiché le interazioni tra parametri non sono solamente binarie, se si prende in considerazione anche la variabile "tempo". A tali incertezze è possibile comunque far fronte con ulteriori elaborazioni numeriche, già applicate in altri settori di ricerca e tuttora in fase di messa a punto presso l'Università di Ferrara per la valutazione dei possibili scenari e del loro differente impatto sull'ambiente.

La procedura utilizzata costituisce un passo verso la comprensione multiparametrica del problema dell'instabilità costiera, ed è certamente uno strumento in grado di porre il ricercatore nelle condizioni di identificare le principali problematiche e di pianificarne la soluzione. Questo approccio, dunque, permette di operare una corretta gestione delle dune costiere e di valutare le possibili modificazioni indotte dagli interventi suggeriti.

Introduzione

L'evoluzione dei litorali rappresenta una delle incessanti attività di modellamento alle quali la morfologia terrestre è sottoposta, in seguito alla dinamica degli equilibri naturali. Se è vero che tali atti-

vità possono prescindere dalla presenza dell'uomo, in quanto retti da leggi fisiche precise ed assolute, è anche vero che possono essere fortemente condizionati dagli interventi antropici.

Da uno studio condotto da Paskoff (1985) risulta che, su scala globale, circa il 70% delle spiagge è in arretramento e solo il 10% in avanzamento. Ciò evidenzia una tendenza evolutiva generale legata a fenomeni a scala mondiale, spesso ineluttabili, e talvolta accentuati da situazioni locali innescate dall'uomo.

Nell'ultimo secolo l'intervento dell'uomo lungo le coste italiane, con le modifiche indotte dalle coltivazioni, dalla costruzione di strade e di ferrovie, dalle opere di sistemazione dei bacini imbriferi, dalle estrazioni di inerti dagli alvei, dalla costruzione di opere di sbarramento per molteplici usi (energetico, irriguo, difesa dalle piene, ecc.) e dalla costruzione di opere a mare, ha pesantemente mutato le condizioni naturali del trasporto solido a mare e lungo riva (Simeoni e Bondesan, 1997). Le variazioni della linea di riva hanno un pesante seguito sul mutamento delle condizioni ambientali dei sottosistemi costieri, tra i quali gli apparati dunosi che, costituendo il raccordo naturale tra retrospiaggia ed entroterra, sono stati soggetti a frequenti smantellamenti. Inoltre, la pressione esercitata dall'antropizzazione su aree sempre più prossime alla spiaggia ha, di fatto, favorito lo spianamento delle dune. Negli ultimi decenni, tuttavia, si è assistito ad una crescente sensibilizzazione verso la salvaguardia degli apparati dunosi litoranei. In ambito europeo si possono citare, ad esempio, le ricerche condotte in Germania (Erchinger, 1992), Francia (Bodéré et al., 1991; Meur et al., 1992; Williams et al., 1993), Danimarca (Feilberger e Jensen, 1992), Inghilterra (Pye, 1990; Radley, 1992), Spagna (Sanjaume, 1988; Sanjaume e Pardo, 1992), Paesi Bassi (Jelgersma et al., 1970; Arens e Wiersma, 1994) e Portogallo (Dias et al., 1994). L'interesse deriva dalla crescente consapevolezza degli importanti ruoli che le dune rivestono nell'ambiente litorale: unicità dell'ambiente, valore ecologico, funzione di riserva di materiale per l'alimentazione delle spiagge, difesa nei confronti dell'ingressione dell'onda, importanza nella riabilitazione dell'ambiente e potenzialità economiche.

In letteratura vi sono numerose proposte per l'analisi della vulnerabilità e per la scelta delle misure di protezione delle dune costiere (Psuty, 1989; Erchinger, 1992; Feilberger e Jensen, 1992; Paskoff, 1993; Arens e Wiersma, 1994), alcune basate sull'uso di liste parametriche (Bodéré et al., 1991; Williams et al., 1993; Dias et al., 1994). Nell'uso di queste metodologie viene, però, dato poco rilievo alle specificità che si possono presentare nell'ambito di singoli tratti della costa: una tipologia d'intervento può dare risposte puntuali diverse, pur applicata nell'ambito dello stesso sistema.

Gli interventi proponibili per la salvaguardia e la gestione delle dune devono essere rispettosi dei processi naturali locali ed essere predisposti nell'ambito di una gestione integrata, come suggerito da Psuty (1989), Van Zoest (1992), e da Van der Meulen e Janssen (1992). I principi su cui basare le strategie possono così essere sintetizzati: indivisibilità del sistema spiaggia-duna; salvaguardia delle peculiarità dell'ecosistema; interventi "morbidi", per non irrigidire il sistema, e modulari, per consentire flessibilità; intervenire sulle cause, non sugli effetti, e sui parametri più destabilizzanti.

Le strategie d'intervento devono, inoltre, tener conto che lo sviluppo di una duna è in stretta relazione (Bagnold, 1954; Cooke and Warren, 1973; Hsu, 1973) con: la quantità del sedimento disponibile ed in movimento; la velocità del vento; la dimensione, composizione e forma dei grani; la morfologia. Schematizzando, tre possono essere gli obiettivi: 1- contenimento delle situazioni più critiche; 2- mantenimento dello stato attuale; 3- stimolazione della crescita e dello sviluppo delle dune. Si possono, dunque, predisporre interventi che incrementino il bilancio di spiaggia: ciò può avvenire ripristinando le portate fluviali o facendo ripascimenti artificiali. Aumentando l'ampiezza della spiaggia si ottiene un duplice effetto: aumentare la quantità di materiale trasportato dal vento (Arens e Wiersma, 1994) e salvaguardare le dune dallo smantellamento operato dalle onde. Nelle situazioni più compromesse, spesso, l'unica soluzione praticabile, a breve termine, sta nella costruzione di opere di difesa a mare che preservino il litorale dall'erosione.

Si può, altresì, operare al fine di rimodellare la geometria della duna, mediante versamenti effettuati, separatamente o in combinazione, sul lato mare, sulla cresta e sul lato terra. Ciò consente di modificare la pendenza e la topografia delle dune costiere, riducendo la velocità del vento nella sommità

della duna (Paskoff, 1993), di eliminare i bruschi raccordi tra spiaggia e piede duna, e di chiudere gli inutili e dannosi varchi aperti dall'uomo. Per la loro ricostruzione non deve essere utilizzata sabbia prelevata in mare, perché può alterare la salinità della falda e compromettere lo sviluppo della vegetazione. Dovendo utilizzare materiali reperiti in mare è, quindi, necessario sottoporli ad un attento processo di desalinizzazione.

Infine, si può intervenire per stimolare il deposito e prevenire l'erosione delle dune innalzando delle barriere frangivento e impiantando una vegetazione adatta. Essa deve presentare un diffuso apparato radicale, per ridurre la mobilitazione dei sedimenti, ed un ridotto tronco, in modo da minimizzare la zona di calma d'aria. Altre volte conviene operare in modo da ridurre la densità della vegetazione retrostante alle dune, per incrementare il trasporto di sabbia da terra.

Metodologia

Nella gestione di un sistema litorale è, spesso, essenziale stimare il livello del rischio al fine di predisporre appositi interventi di mitigazione. Il rischio totale (R_t) è dato (UNDRO, 1982) dal rischio specifico (R_s) di una determinata area per il valore degli elementi a rischio (E , in questo caso specifico l'ambiente spiaggia-duna). A sua volta il rischio specifico è definito dalla pericolosità (H : probabilità che si verifichi un evento non desiderato, nell'arco di un tempo di ritorno prefissato) per la vulnerabilità (V : capacità degli elementi di reagire ed opporsi all'evento). È intuitivo come il rischio totale può essere mitigato intervenendo sia sulla vulnerabilità sia sul valore. Per una corretta valutazione del rischio, oltre ad una stima del valore, è, dunque, necessario determinare attentamente il grado di pericolosità e di vulnerabilità dell'area, in funzione dell'evento indesiderato aspettato.

La vulnerabilità, per l'ambiente litorale, può essere determinata in relazione all'erosione costiera (Crane, 1963; Chorley, 1973; Mitchell, 1974; Swan, 1975; Komar, 1976; Blanc, 1980; Ricketts, 1986; Dal Cin and Simeoni, 1989), alla variazione del livello marino (Gornitz e Kanciruk, 1989), alla possibilità d'episodiche inondazioni del litorale (Dal Cin e Simeoni, 1994) o ad un contesto ecologico e sociale (Rowntree, 1974; Ricketts, 1989).

Un altro esempio di vulnerabilità può essere individuato nelle modificazioni che, negli ultimi decenni, hanno subito gli apparati dunosi litorali (Simeoni et al., 1998). Infatti, il loro smantellamento, perpetrato per aprire cave di prestito d'inerti o per assecondare lo sviluppo di massicci interventi urbanistici o, addirittura, per agevolare l'accesso ai bagnanti, ha determinato un aumento del rischio, in alcuni tratti costieri, per una riduzione delle protezioni (aumento di V) e non per l'aggravamento delle condizioni di attacco del mare ($H = \text{costante}$).

Per la valutazione della vulnerabilità possono essere utilizzate diverse metodologie, nel caso specifico è stata applicata la Teoria dei Sistemi. Le sue prime formulazioni risalgono alla fine del secolo scorso (Gilbert, 1877; Davis, 1899). Successivamente essa fu ripresa e riproposta da Strahler e Strahler (1973) e da Bennet e Chorley (1978), ma è solo con Hudson (1992) che le fu dato un approccio metodologico generale. Gli autori hanno successivamente ampliato ed adattato questa metodologia per valutazioni nell'ambito del sistema costiero (Simeoni et al., 1996; Mazzini e Simeoni, 1997; Simeoni et al., 1997; Simeoni et al., 1998). Nel caso di studio al posto del termine "vulnerabilità" si è preferito usare il "grado di instabilità degli apparati dunosi", poiché meglio esprime il concetto di tendenza evolutiva negativa del sistema spiaggia-duna.

BIM - Matrice di interazione binaria (Binary Interaction Matrix)

Il presupposto su cui si basa la Teoria dei Sistemi consiste nella comprensione e descrizione dei rapporti che intercorrono tra fattori e processi nell'ambito evolutivo di un sistema. Ciò viene sviluppato attraverso la costruzione di una matrice. Entro le caselle, lungo una diagonale, vengono riportati i parametri considerati; l'ultima casella corrisponde allo scopo dell'indagine (Simeoni et al., 1998). Le caselle della matrice vengono riempite, seguendo uno schema in senso orario di interazione (Fig. 1), descrivendo il tipo di influenza che un parametro ha sull'altro. A titolo di esempio si osservi la Figura 2a che riporta parte della matrice utilizzata per lo studio del sistema spiaggia-duna.

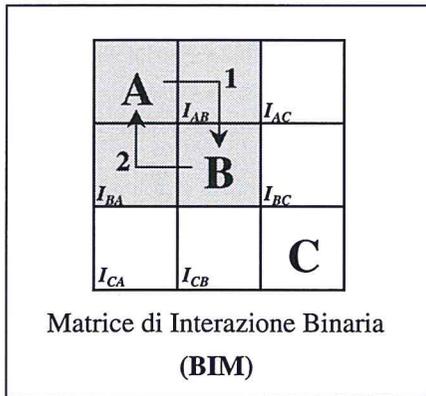


Fig. 1 - Esempio di matrice BIM a tre parametri (A, B e C). I percorsi 1 e 2 rappresentano rispettivamente l'influenza di A su B (I_{AB}) e B su A (I_{BA}). Il parametro C non interferisce nell'interazione binaria A-B (Hudson, 1992).

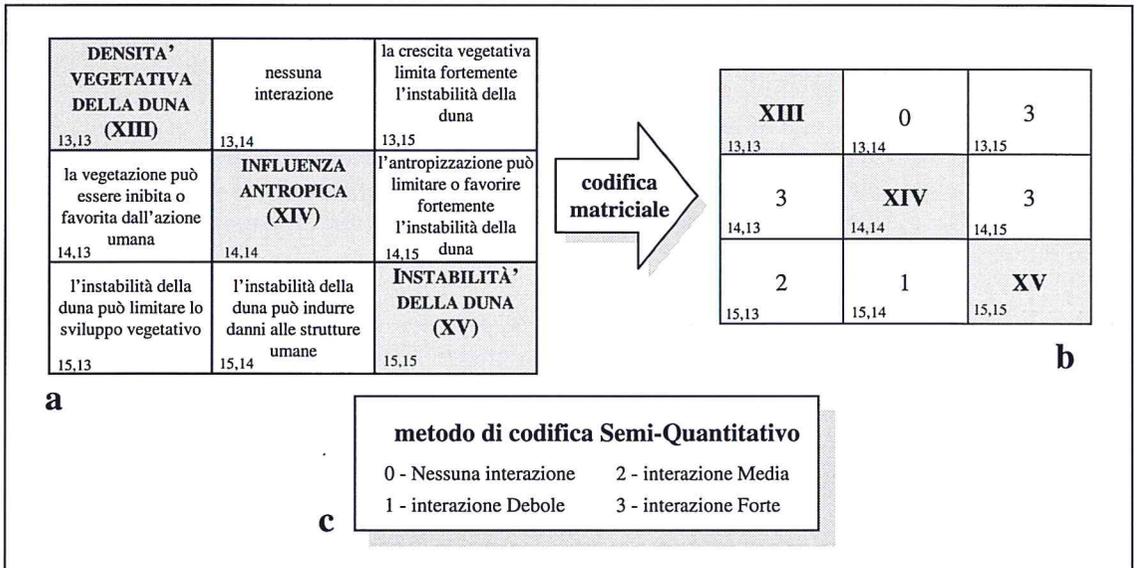


Figura 2 - Esempio di costruzione della matrice di interazione dei parametri del sistema spiaggia-duna. Nello schema sono riportati solo tre dei quattordici parametri selezionati. a) descrizione dell'interazione binaria tra parametri; b) trasformazione in matrice numerica secondo il criterio interpretativo adottato (c) (Hudson,1992). Successivamente, le descrizioni contenute nella matrice vengono sostituite, in base all'esperienza degli operatori, da codici numerici (Fig. 2b) che quantificano il loro grado di interazione (Fig. 2c).

L'utilizzo dell'approccio binario consente di compensare eventuali errori di valutazione delle singole interazioni, dato che il risultato finale dell'influenza, di ogni parametro sul sistema e del sistema su ogni parametro, viene fornito (Fig. 3) dalla sommatoria dei valori di una riga (causa) o di una colonna (effetto). Ciò implica che l'interazione di ogni parametro è fornita dalla somma di n-1 interazioni binarie (dove n è il numero dei parametri), compensando così eventuali errori di valutazione (Simeoni et al., 1998).

I termini causa ed effetto si riferiscono convenzionalmente all'influenza di un parametro sul sistema e viceversa, in accordo all'impostazione fornita da Hudson (1992). Detta C la causa ed E l'effetto si definisce interattività la somma C+E e dominanza la differenza C-E. La prima valuta il grado di interazione del parametro con il sistema: alti valori indicano una stretta connessione del parametro con gli altri, vale a dire che una sua variazione determina una rapida modificazione degli altri parametri del sistema. La dominanza valuta la subordinazione di un parametro rispetto al sistema: bassi valori indicano una sua forte dipendenza dagli altri parametri, mentre valori alti evidenziano un controllo del parametro esterno al sistema considerato.

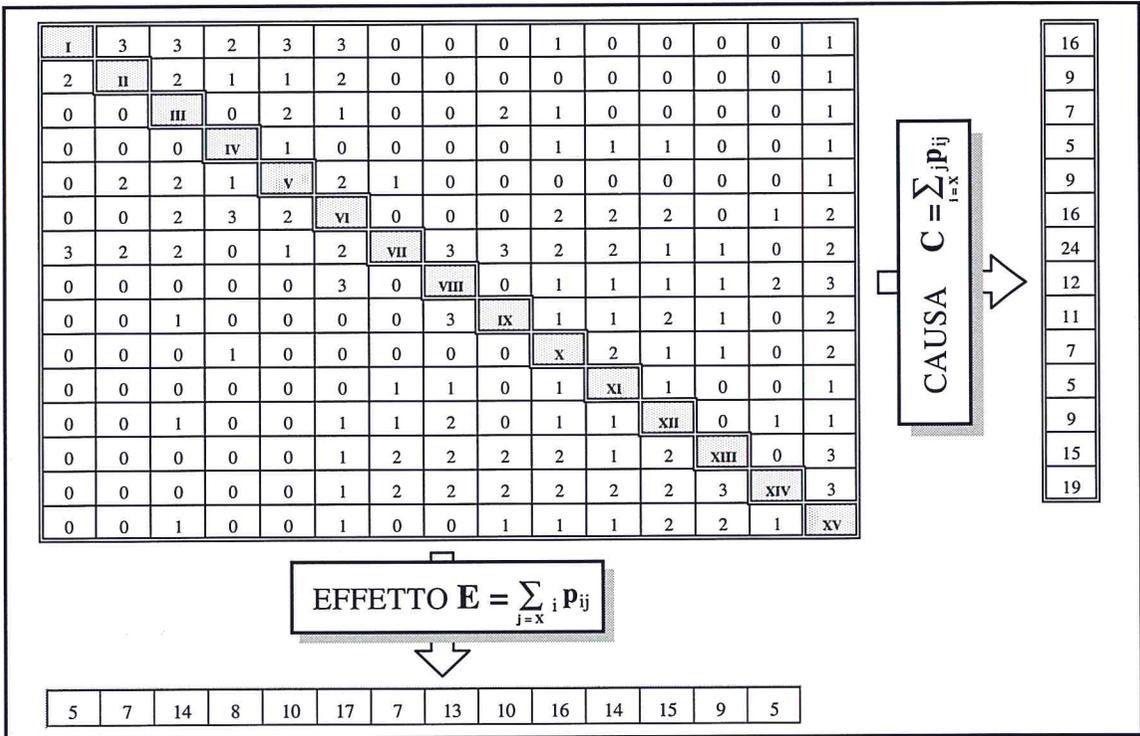


Figura 3 - Matrice BIM codificata del sistema spiaggia-duna di Lesina-Varano.

GIM Matrice di interazione globale (Global Interaction Matrix)

La matrice di interazione binaria (BIM) caratterizza la struttura del problema, ma sviluppa solo una parte delle interazioni del sistema in esame. La codificazione binaria, infatti, rappresenta una struttura che semplifica i processi naturali, poiché ha come presupposto che tutti gli altri parametri rimangano invariati quando il parametro A influenza il B. Si pensi ad una prova di laboratorio in cui solo due parametri sono coinvolti, mentre la situazione al contorno viene mantenuta costante: si agisce su un parametro e si registrano le variazioni provocate su un altro.

In realtà, in un sistema, quando si modifica il valore di un parametro si "attiva" l'intera matrice, cioè si attivano tutti i percorsi diretti, indiretti e di retroazione che possono unire i parametri. E' come nel gioco del biliardo quando all'inizio si "spacca" il gruppo di biglie: esse si mettono in movimento lungo traiettorie influenzate dalle collisioni. Ciò implica la necessità di tenere conto anche di quelle interazioni, non considerate nella BIM, che si attivano, per esempio, quando il parametro A interagisce con il parametro B attraverso il parametro C (Fig. 4). La matrice che ne deriva è stata chiamata da Jiao e Hudson (1995) matrice di interazione globale (GIM).



Figura 4 - Esempio di matrice GIM a tre parametri (A, B e C).

I percorsi 1 e 2 rappresentano ancora l'influenza di A su B e B su A; il percorso 3 rappresenta l'influenza di A su B attraverso C ed il 4 di B su A tramite C. L'interazione globale di A su B (casella G_{AB}) è data dalla somma delle interazioni 1 e 3, mentre l'interazione globale di B su A (casella G_{BA}) è data dalla somma delle interazioni 2 e 4. Aumentando il numero dei parametri le possibili combinazioni nella matrice aumentano in modo esponenziale (Jiao e Hudson, 1995).

In definitiva, mentre la BIM rappresenta la struttura del sistema, la GIM mette in rilievo la sua operatività, intesa come serie di tutte le interazioni possibili tra i parametri. Si può esprimere numericamente la differenza esistente tra la BIM e la GIM attraverso il calcolo dell'indice di accoppiamento (CI), espresso dalla seguente notazione:

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n G_{ij} - n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_{ij}}$$

in cui: G_{ij} = termini della GIM
 I_{ij} = termini della BIM
 n = numero di parametri

Maggiore sarà il valore del CI, più attiva sarà la matrice globale (GIM) rispetto alla matrice binaria (BIM), cioè, nel sistema, sussistono numerosi percorsi indiretti che uniscono le variabili.

Estensione della metodologia

Nella ricerca condotta viene proposta un'estensione della Teoria dei Sistemi, separando l'indagine in due parti: nella prima si imposta il fenomeno in un quadro generale (sistema), in modo da evidenziare le caratteristiche di dominanza e di interattività dei parametri considerati; successivamente, nella seconda parte, si esaltano le specificità del comportamento di singoli tratti del sistema. Ciò consente di individuare soluzioni adatte alle caratteristiche di ogni tratto e compatibili con quelle dell'intero sistema.

Inquadramento geomorfologico e fisico del litorale in esame

Il litorale indagato rappresenta uno dei pochi esempi adriatici dove sono sopravvissuti cordoni dunosi estesi, ben sviluppati ed ancora scarsamente antropizzati. L'area di studio, lunga circa 75 km, è ubicata nell'Italia meridionale, in prossimità del promontorio del Gargano (Fig. 5).

La costa è costituita da spiagge sabbiose interrotte da affioramenti rocciosi, in località Punta Pietre Nere (rocce vulcaniche) e Torre Mileto (rocce carbonatiche). Il litorale borda l'estesa pianura alluvionale prodotta dagli apporti dei fiumi Fortore e Biferno, dove si sono sviluppati i laghi costieri di Lesina e Varano.

Caratteristiche idrologiche ed evolutive

La formazione dei laghi e del litorale antistante è avvenuta in tempi relativamente recenti, intorno al 1000 (Tramonte, 1955).

L'alimentazione del litorale è legata principalmente agli apporti solidi dei fiumi Biferno e Fortore. Quest'ultimo fornisce attualmente i maggiori quantitativi di materiale (portata solida media annua 3,76 g/l; deflusso torbido unitario annuo 1370 t/km²).

L'evoluzione del litorale è stata indagata attraverso il confronto di cartografie, che coprono il periodo 1869-1980, e rilievi effettuati dagli autori nel 1982 e 1994. Dai confronti dei rilievi per i periodi 1869-1909 e 1909-1957 si evidenzia un generale avanzamento della linea di riva, con punte massime nel lobo meridionale del Biferno. Dagli anni '40 e '50 le modificazioni del litorale risultano fortemente condizionate dall'azione antropica, esercitata soprattutto lungo il corso dei fiumi. La costruzione di sbarramenti artificiali ed escavazioni di inerti in alveo hanno ridotto drasticamente le portate solide sabbiose dei fiumi (Parea, 1978). Ciò ha innescato, tra il 1957-80, arretramenti della linea di riva, con punte massime nell'area di foce del Biferno. Tra il 1982-94 continua la crisi, ma con velocità d'arretramento più contenute.

Caratteristiche geomorfologiche e vegetazionali

Le spiagge emerse presentano ampiezze variabili tra 8 e 41 m e pendenze comprese tra $1,1^\circ$ e $7,9^\circ$. Ad esse seguono più cordoni di dune, disposti all'incirca parallelamente alla linea di riva. I più interni sono stabilizzati da vegetazione arbustiva ed arborea, tipica della macchia mediterranea: *Pinus halepensis*, *Juniperus oxycedrus*, *Cyperus kalii*.

Le dune costiere hanno uno sviluppo generalmente continuo e presentano forme legate all'erosione marina (scalzamento al piede) e, meno frequentemente, alla deflazione eolica (limitati *blowouts*) od all'attività antropica (piccoli varchi). Presentano altezze comprese tra 1,8 e 5,2 m, ampiezze tra 11 e 57 m e pendenze, del lato verso mare, di $5,5^\circ$ – $15,9^\circ$. In parte, e con differente densità, sono ricoperte da vegetazione di tipo erbaceo, costituita da un'associazione specializzata ed in equilibrio con l'ambiente: *Ammophila littoralis*, *Euphorbia paralias*, *Eryngium maritimum*, *Echinophora spinosa*, *Otanthus maritimus*, *Pancreatium maritimum*.

Secondo la classificazione proposta da Arens e Wiersma (1994), i corpi dunosi di Lesina e Varano possono essere definiti come dune dinamiche a sviluppo naturale, vegetate (Goldsmith, 1985; Hesp, 1989) e dalla forma generalmente semplice risultante da un solo vento dominante (McKee, 1979). In base al modello classificativo di Psuty (1989), che tiene conto del bilancio sedimentario, esse rientrano generalmente nel quadrante di attenuazione delle dune, avente bilancio negativo sia per la spiaggia sia per la duna (Fig. 6); ciò trova conferma dalle morfologie rilevate in campagna.

Le spiagge e le dune sono costituite da sabbia media e fine. L'interpretazione delle analisi sedimentologiche e mineralogiche suggerisce un'omogeneità compositiva tra duna e spiaggia antistanti. Essa evidenzia solo una diversa frequenza dei minerali tra i litorali più meridionali, antistanti il lago di Varano, rispetto agli altri.

I fondali sotto costa sono caratterizzati da sedimenti con notevole omogeneità dimensionale (sabbie da molto ben selezionate a moderatamente selezionate), via via più sottili procedendo verso il largo. Localmente la presenza delle foci fluviali modifica questa tendenza. Gli apporti del Biferno, e in minor misura del Fortore, determinano depositi di materiale più grossolano, fino a 4-7 m di profondità. Questa situazione sembra riconducibile alla presenza sui fondali di sedimenti residuali (Dal Cin e Simeoni, 1993) con scarsa alimentazione sedimentaria.

Le indagini hanno evidenziato come il litorale sia alimentato soprattutto dai sedimenti provenienti dal Fortore. In prossimità di Punta Pietre Nere assumono maggiore importanza i sedimenti di origine vulcanica provenienti dallo smantellamento della cuspidata rocciosa.

Lo studio ha inoltre messo in evidenza come il trasporto lungo riva sia sostanzialmente rivolto verso oriente.



Figura 5 - Ubicazione del tratto costiero considerato.

Caratteristiche meteo-marine

Il litorale è caratterizzato da precipitazioni medie annue di 570 mm e da una temperatura media di 15,6°C, rilevata nel periodo 1981-85. Il clima anemologico è stato definito attraverso l'analisi dei dati raccolti nella stazione di Vieste: ubicazione 60 m sul l.m.m., periodo di registrazione 1965-1979. E' caratterizzato dalla prevalenza, sia per frequenza sia per intensità, dei venti provenienti dal IV quadrante, con *fetch* efficace (determinato per direzione 330°N) di 155,73 miglia marine e con velocità massima di 24,2 m/s. Nel periodo autunno-inverno assumono importanza anche i venti del I e II quadrante, con *fetch* variabile tra 90 (direzione 30°N) e 131,72 miglia marine (direzione 90°N).

Il litorale è interessato da un regime microtidale (circa 80 cm) e presenta fondali, tra 0 e -10 m con basse pendenze (mediamente di 0,3°). Il moto ondoso è caratterizzato da calme per il 31,4 % dei casi, da onde con altezza inferiore a 0,5 m per il 18,7 % e superiori a 4,5 m per il 2,3 % dei casi. Il flusso di energia del moto ondoso, che si scarica in battigia, calcolato secondo la metodologia proposta dal C.E.R.C. (1984) e tenendo conto delle diverse orientazioni assunte dal litorale, varia tra $1,009 \cdot 10^9$ e $2,549 \cdot 10^9$ joule.

È stato inoltre determinato un indice morfodinamico della spiaggia (*surf-scaling parameter*) secondo la notazione proposta da Guza and Inman (1975), $\epsilon = a_i \omega^2 / g \tan^2 \beta$, dove: a_i è l'ampiezza dell'onda media di frangenza, ω è la frequenza angolare, g è la costante gravitazionale e β la pendenza della spiaggia. In base ad esso la spiaggia risulta fortemente dissipativa (Wright et al., 1979; Wright et al., 1982; Wright e Short, 1984), con valori del *surf-scaling* (ϵ) compresi tra 240 e 865. Ciò trova riscontro anche nelle caratteristiche morfologiche rilevate, secondo quanto enunciato da Wright and Short (1984): spiagge poco pendenti, assenza di evidenti forme ritmiche, accumuli dunosi continui e ben sviluppati, presenza di forme di deflazione. La figura 7 fornisce una caratterizzazione schematica del litorale in esame. Allo scopo di mettere in rilievo le specificità di singole aree, all'interno del sistema, sono stati selezionati 10 tratti di litorale sufficientemente omogenei, con lunghezze variabili tra 1, 6 e 6,4 km e per un totale di 40,2 km di costa. In tabella 1 sono elencate, per ogni tratto costiero selezionato (Fig. 7), alcune caratteristiche morfologiche del sistema spiaggia-duna.

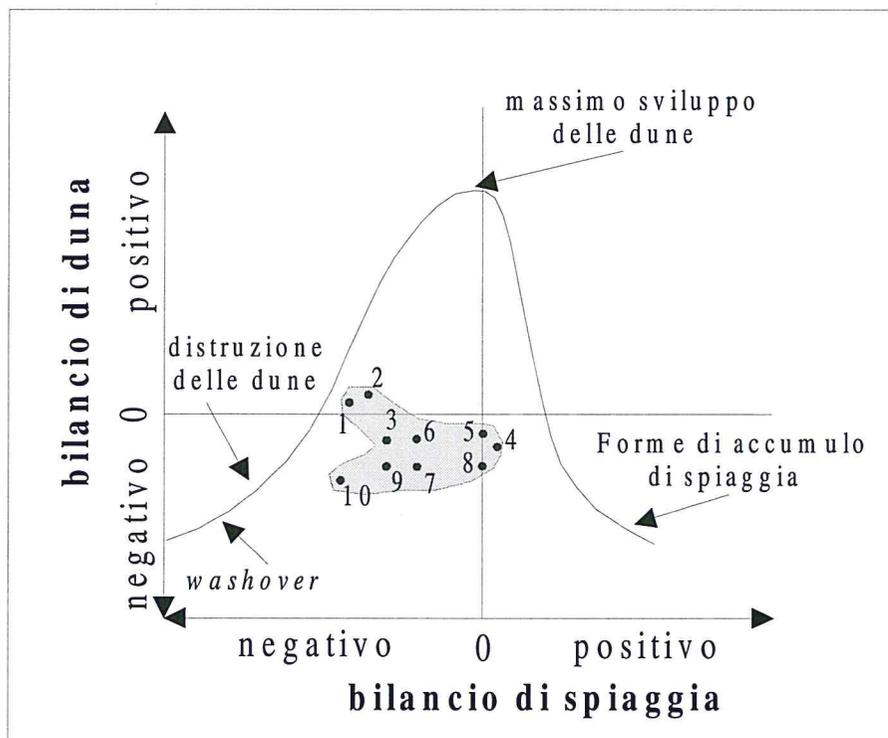


Figura 6 - Modello di bilancio del sistema spiaggia-duna (da Psuty, 1989). L'area retinata individua gli apparati dunosi di Lesina e Varano ed i punti numerati i tratti costieri analizzati (la loro ubicazione è riportata in figura 7).

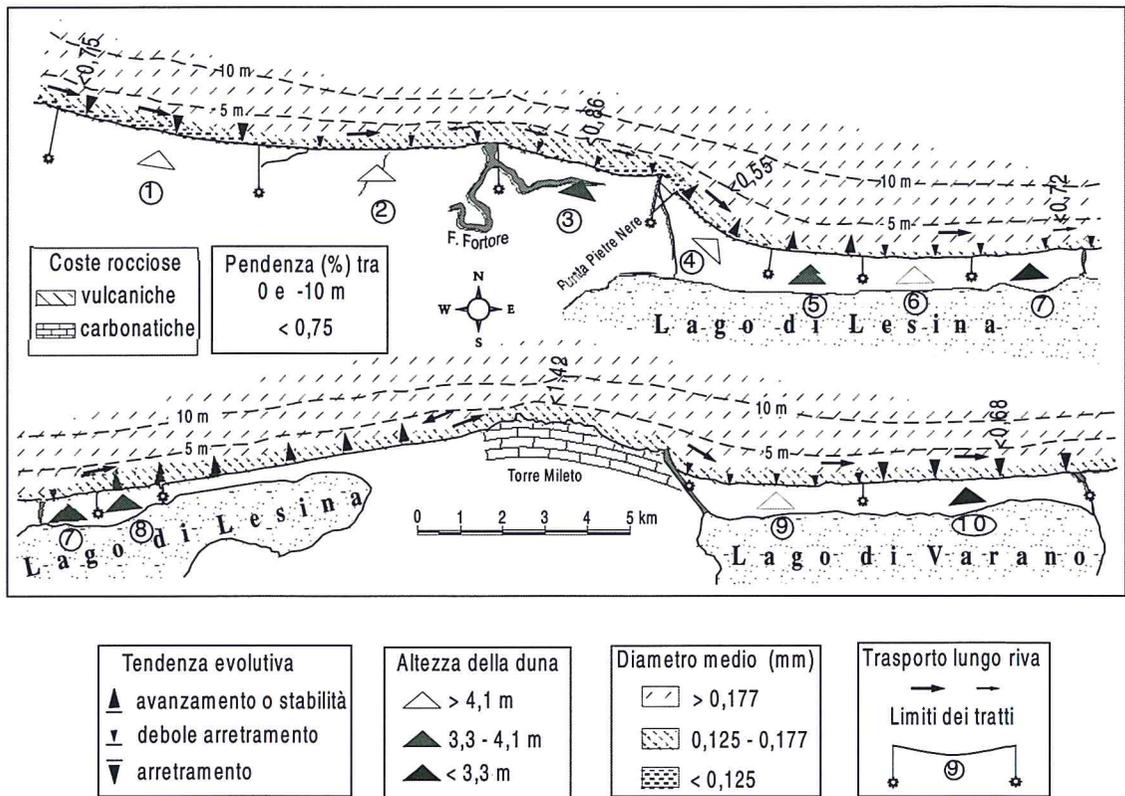


Figura 7 - Inquadramento geomorfologico dell'area di studio

Parametri	Tratti	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mz Spiaggia (mm)		0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Ampiezza spiaggia (m)		11	17	34	26	30	27	23	24	27	15
Pendenza spiaggia (°)		7,2	4,8	2,7	3,4	1,2	3,6	2,0	3,1	2,9	3,8
Mz dune (mm)		0,3	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Ampiezza dune (m)		48	41	32	23	33	20	30	23	15	31
Pendenza fianco mare (°)		5,9	9,8	7,2	8,1	13,1	11,9	7,2	9,0	16,4	6,0

Tabella 1 - Valori medi di alcuni parametri rilevati per i tratti in esame.

Applicazione della metodologia al sistema spiaggia-duna

Il primo passo nell'applicazione della metodologia risiede nella scelta dei parametri significativi che consentono di descrivere le relazioni principali fra la dinamica della costa, la gestione del litorale, l'attività eolica e la forma delle dune costiere (Pye, 1983; Arens e Wiersma, 1994). Essi devono caratterizzare, il più compiutamente possibile, i processi che concorrono nell'evoluzione della duna. Il secondo passo analizza e valuta le loro interazioni binarie in base all'esperienza dei ricercatori. Nel caso in esame sono stati selezionati 14 parametri ritenuti sufficientemente rappresentativi (Simeoni et al. 1998), elencati in Tabella 2.

In un modello di sviluppo è essenziale conoscere il bilancio sedimentario (Pye, 1990), che influenza la variabile VI: quando essa è negativa presenta una interferenza diretta sulle dune, mentre è indiretta nel caso opposto (Arens e Wiersma, 1994). L'uso delle variabili I e II consente di definire un quadro energetico del litorale in esame.

Tabella 2 – Parametri rappresentativi del sistema spiaggia-duna e loro unità di misura.

Parametri	Num. Id.	Unità
Flusso di energia (componente parallela)	I	joule
Stato morfodinamico della spiaggia	II	*
Diametro medio dei sedimenti di spiaggia	III	mm
Larghezza della spiaggia	IV	m
Inclinazione media della spiaggia	V	gradi sess.
Spostamento linea di riva	VI	m/anno
Esposizione della spiaggia ai venti dominanti	VII	gradi sess.
Trasporto eolico minimo potenziale	VIII	gr cm/sec
Diametro medio dei sedimenti di duna	IX	mm
Larghezza della duna	X	m
Altezza della duna	XI	m
Inclinazione media del lato a mare della duna	XII	gradi sess.
Densità della vegetazione della duna	XIII	**
Antropizzazione delle dune	XIV	**

* - termine adimensionale

** - valutazione qualitativa

La variabile VII è stata introdotta poiché è molto importante la direzione dei venti: generalmente ai venti provenienti da terra sono legati i maggiori fenomeni erosivi delle dune mentre a quelli da mare quelli costruttivi (Arens, 1992). Dato che l'evoluzione della duna dipende, in modo diretto, dalla quantità di materiale mobilitata dal vento per una sua stima, mancando dati sperimentali, si è utilizzato il tasso di trasporto minimo potenziale (variabile VIII), dedotto in base alle formulazioni proposte da Bagnold (1954).

I parametri IV, V, X, XI e XII definiscono la morfologia delle sezioni spiaggia-duna, mentre le caratteristiche tessiturali dei sedimenti di spiaggia e duna vengono puntualizzate dalle variabili III e IX. E', infatti, improponibile definire processi e fenomeni o proporre e sviluppare interventi nell'ambiente spiaggia-duna senza considerare le caratteristiche morfologiche del litorale e tessiturali dei materiali coinvolti nei processi eolici.

La conoscenza della densità vegetativa (variabile XIII) è importante perché essa determina una riduzione della mobilità dei sedimenti (fissa le forme) e della velocità del vento radente al suolo. Così come in un progetto gestionale non è possibile trascurare gli interventi antropici perpetuati sulle dune costiere (variabile XIV), perché presentano delle relazioni retroattive con i processi eolici e litorali (Arens e Wiersma, 1994).

Seguendo la procedura descritta precedentemente sono state prima descritte e poi quantificate le interazioni tra le 14 variabili del sistema spiaggia-duna. La quantificazione è stata ottenuta assegnando un valore numerico ad ogni interazione adottando un criterio semi-quantitativo (Hudson, 1992): codici numerici tra 0 (nessuna interazione) e 3 (massima interazione) con intervalli di 1, assegnati in base all'esperienza. Ciò ha consentito di ottenere una matrice generale per l'area in esame e la determinazione di causa, effetto, interattività e dominanza di ogni parametro.

Dal calcolo dell'interattività, la cui rappresentazione è indicata dal diagramma di figura 8a, si evidenzia come nell'evoluzione delle dune sia opportuno prestare particolare attenzione ad interventi che possono variare il bilancio di spiaggia (VI), l'esposizione ai venti (VII), il tasso di trasporto eolico (VIII) e la pendenza (XII), la densità della vegetazione (XIII) e l'antropizzazione (XIV) della duna. Infatti, piccole variazioni dei loro valori incidono fortemente in tutta la morfodinamica del sistema spiaggia-duna.

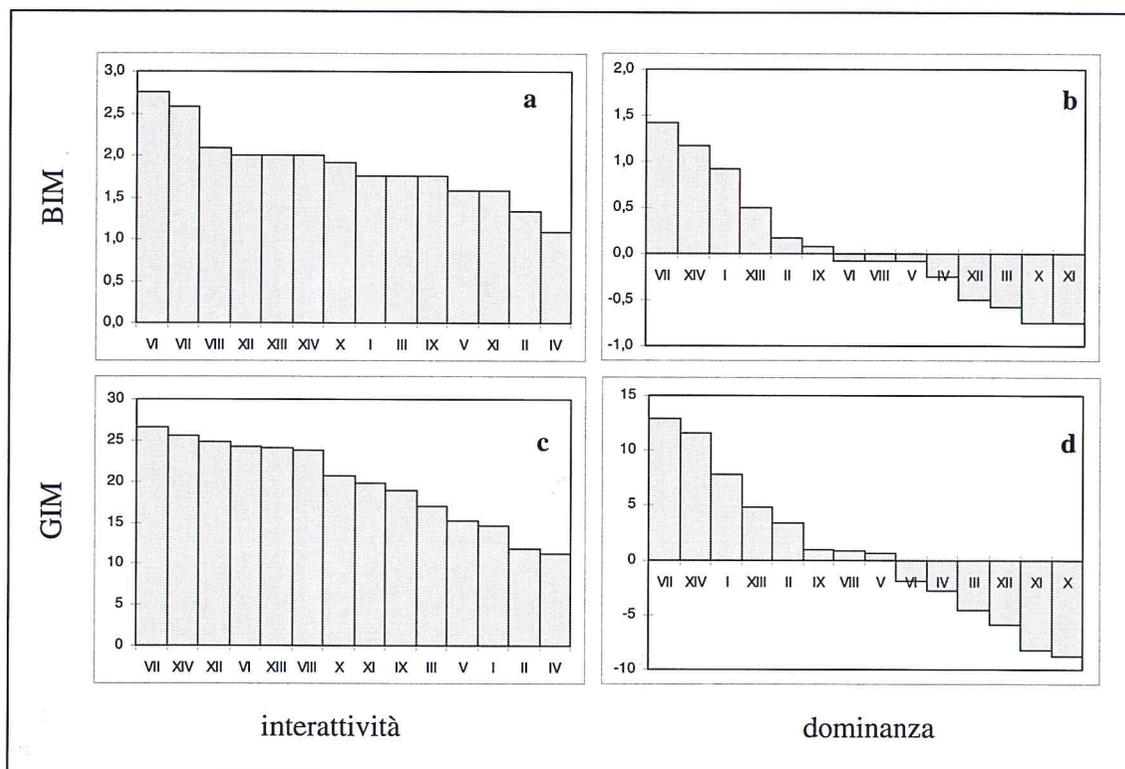


Figura 8 - Diagrammi dell'interattività (a, c) e dominanza (b, d) dei parametri del sistema ottenuti dalle matrici BIM e GIM.

D'altra parte il diagramma della dominanza dei parametri (Fig. 8) pone il flusso di energia del moto ondoso (I) e l'esposizione della spiaggia ai venti dominanti (VII) ai primi posti. Esse non possono essere modificate perché sono variabili indipendenti. Per quanto riguarda l'antropizzazione (XIV) e lo stato vegetativo (XIII), pur essendo specifiche del sistema e collocandosi ai primi posti in termini di dominanza, intervengono solo marginalmente nel litorale, per la loro scarsa variabilità (Simeoni et al., 1998).

Per ognuno dei dieci tratti costieri individuati sono stati quantificati i quattordici parametri elencati in tabella 2.

La loro interattività è stata trasformata in intensità di interazione percentuale, indicata con *a*. Successivamente, i valori di ciascun parametro sono stati suddivisi in tre classi, alle quali sono stati assegnati dei pesi ponderali (*P*), crescenti da 1.0 a 2.0 e con intervalli di 0.5, in funzione della loro incidenza sull'instabilità delle dune. La stima dell'instabilità è stata effettuata ricavando un Indice Comparativo di Instabilità delle Dune (C.I.F.I.: *Comparative Index of Foredune Instability*) per ogni singolo tratto (Fig. 9), applicando la seguente equazione:

$$C.I.F.I. = \sum_j a_j P_{ij}$$

dove *i* si riferisce ai 14 parametri e *j* ai 10 tratti costieri.

L'indice consente di evidenziare quali sono i tratti in cui le dune sono più compromesse, di individuare il grado di sorveglianza a cui devono essere sottoposte, di razionalizzare le risorse assegnando priorità di investimento nelle aree più critiche (C.I.F.I. più elevato).

In seguito, moltiplicando i codici della matrice generale per i pesi ponderali si è potuto costruire una matrice specifica per ogni tratto ed evidenziare le relazioni esistenti tra dominanza ed interattività dei parametri considerati (Simeoni et al., 1998).

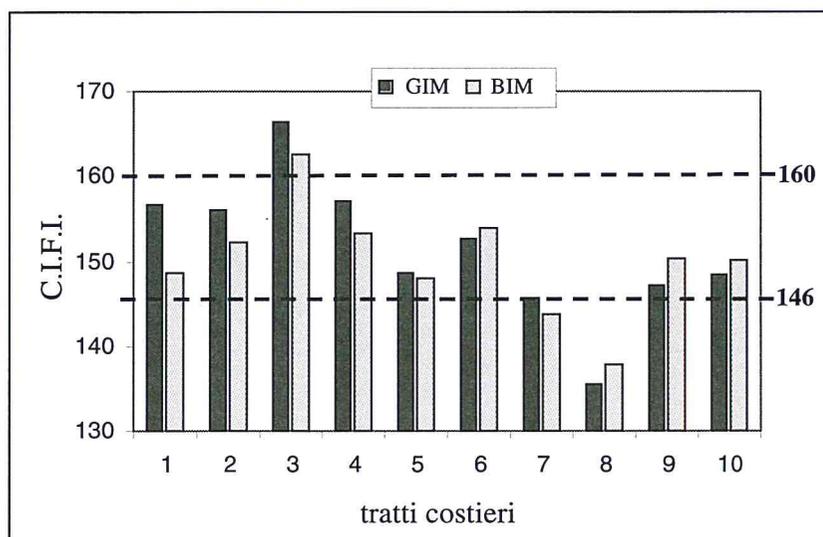


Figura 9 - Valori del coefficiente di instabilità delle dune costiere (CIFI) lungo i tratti analizzati. Il coefficiente è stato ricavato sia dall'analisi della matrice binaria (BIM) sia da quella globale (GIM). Le linee tratteggiate evidenziano le soglie di separazione tra le tre classi di instabilità proposte.

Matrice binaria

In base ai valori del C.I.F.I. i tratti litorali sono stati raggruppati in tre classi d'instabilità (Fig. 9), che sottintendono anche una differente urgenza negli interventi: alta (C.I.F.I. > 160), media (tra 160 e 146), bassa (< 146). Ad esempio risulta che il tratto 3 presenta le situazioni di maggiore instabilità ed è dunque su di esso che si dovranno approntare i primi interventi.

Successivamente, in base all'instabilità ed alla potenziale utilizzazione antropica del tratto litorale, sono state selezionate le strategie d'intervento. Attraverso l'analisi dell'interattività e della dominanza sono stati individuati i parametri su cui è più conveniente operare per predisporre gli interventi. I parametri selezionati dovevano presentare un valore basso di dominanza perché è indicativo di una loro pronunciata dipendenza dal sistema, vale a dire dalle caratteristiche locali. Più articolata è stata la selezione in base all'interattività perché può variare secondo l'urgenza:

- Bassa (< 30) nei casi di minor urgenza, perché, consente di operare su parametri le cui variazioni poco influenzano gli altri; i tempi di risposta del sistema saranno lenti, ma ciò favorisce eventuali modifiche ed operazioni correttive durante l'esecuzione dell'intervento.
- Alta (> 50) nelle situazioni più critiche, perché, modificando pochi parametri si interviene, in maggior o minor misura, su tutte le caratteristiche del tratto, aumentando così l'incisività degli interventi e diminuendo i tempi di risposta del sistema.

Per valori intermedi di instabilità ed urgenza sono stati selezionati parametri la cui interattività risultava intermedia tra le due situazioni precedenti.

Matrice globale

L'elaborazione numerica della matrice globale per la sua complessità, non può essere eseguita senza il supporto di un apposito programma. Esso è stato messo a punto da Jiao and Hudson (1995) e quest'ultimo ha provveduto personalmente all'elaborazione della matrice GIM dell'area in esame.

Da essa risulta che il valore dell'indice di accoppiamento (CI) è pari a 9,58, ciò significa che la matrice globale (GIM) è circa 10 volte più attiva, nelle interazioni, della matrice binaria (BIM).

Alcune interessanti considerazioni possono essere fatte confrontando i diagrammi a barre dell'interattività dei componenti del sistema ottenuti per le matrici BIM (Fig. 8a, b) e GIM (Fig. 8c, d).

In particolare, si può notare come la variazione del livello di interattività degli interventi antropici (XIV) sia al sesto posto nella matrice binaria, mentre passi al secondo nella matrice globale. Questo indica una forte retroattività di ogni intervento umano e della sensibilità del sistema in esame. Un intervento, anche limitato, su alcuni parametri del sistema, può essere, nel breve periodo, ininfluenza

sugli altri parametri, ma può assumere grande importanza modificandoli indirettamente nel medio o lungo periodo.

Al contrario, i diagrammi a barre della dominanza dei parametri rimangono pressoché invariati passando dalla BIM alla GIM (Fig. 8). Ciò significa che il sistema è ben condizionato e strutturato, in altre parole i parametri del sistema spiaggia-duna sono stati scelti nel modo più appropriato.

Strategie d'intervento

Tra i parametri selezionati è stata data maggior importanza a quelli che presentano valori significativi di dominanza e interattività, sia nel tratto di litorale specifico (Fig. 10) sia nel quadro più generale dell'intero sistema (Fig. 8).

Le soluzioni proponibili per la gestione delle dune costiere per ogni tratto litorale possono essere schematizzate come segue.

a) Alta instabilità delle dune - Il tratto 3 presenta il più alto indice di instabilità delle dune (Fig. 9), ciò rende necessari incisivi e rapidi interventi. Essi, data la situazione assai compromessa, dovranno mirare principalmente al contenimento del fenomeno erosivo, che sta smantellando il litorale. Si dovrà quindi intervenire sul bilancio di spiaggia (VI) che è il solo parametro che presenta bassi valori di dominanza ed alti di interattività sia nel tratto (Fig. 10) sia nel sistema, sia dall'analisi della matrice binaria sia da quella globale (Fig. 8).

La tipologia d'intervento in grado di modificare rapidamente questo parametro è il ripascimento artificiale della spiaggia, entro opere di contenimento soffolte. Esso consente sia di arrestare i fenomeni erosivi della linea di riva, sia di aumentare gli apporti di sabbia verso le dune. Infatti, scegliendo opportunamente i materiali per il ripascimento e rimodellando il profilo di spiaggia si può incrementare la quantità di materiale trasportato dai venti.

b) Media instabilità delle dune - I tratti 1, 2, 4, 5, 6, 9 e 10 presentano un indice di instabilità medio, che suggerisce la necessità di interventi limitati alla salvaguardia delle morfologie esistenti. Essi potranno essere effettuati con tempi di attuazione più lunghi dei precedenti. Dall'analisi del sistema è emerso che i parametri III, V, VIII, X, XI e XII sono quelli che meglio rispecchiano le condizioni di bassa dominanza e media interattività.

Analoghe condizioni nei singoli tratti, invece, vengono soddisfatte dai seguenti parametri: III per il tratto 4; IV per il tratto 1; V per il tratto 5; VI per il 5, 6 ed il 9; VIII per i tratti 1, 2, 6, 9 e 10; X per il 4, 5, 6 e 9; XI per il 5; XII per il 9.

E' evidente che in questi tratti gli interventi più idonei sono quelli che consentono un rimodellamento della duna con ripascimenti contenuti ed ubicati nelle aree rivolte verso mare maggiormente pendenti o con profili molto articolati. Nel tratto 2 la salvaguardia dell'area di duna dovrà necessariamente passare attraverso un sostanziale ampliamento della spiaggia antistante. Inoltre, si può prevedere per il tratto 9 l'installazione di barriere frangivento, che stimolano i depositi di fronte alle dune e stabilizzano la loro progressione, senza modificarne considerevolmente le altezze.

c) Bassa instabilità o stabilità delle dune - E' il caso dei soli tratti 7 e 8 dove le uniche operazioni consigliate sono quelle di controllo e monitoraggio delle forme e dimensioni della spiaggia, della duna e dello stato vegetativo. Limitati interventi potrebbero essere previsti per attenuare eventuali brusche rotture di pendenza lungo il profilo spiaggia-duna.

Gli interventi, proposti per i singoli tratti, devono configurarsi all'interno di un progetto più generale. Esso dovrebbe mirare a ripristinare le antiche portate solide sabbiose dei fiumi poiché l'instabilità delle dune è, spesso, strettamente legata all'arretramento della spiaggia. Ciò richiede soluzioni di bacino non sempre attuabili e che, in ogni caso, presentano risposte e tempi di attuazione medio-lunghi. Inoltre, è possibile che ripascimenti proposti in alcuni tratti possano essere evitati. Essi, infatti, potrebbero parzialmente beneficiare dei materiali versati in quelli ubicati immediatamente a settentrione per la prevalenza, in tutto il litorale, di una deriva litoranea rivolta verso oriente.

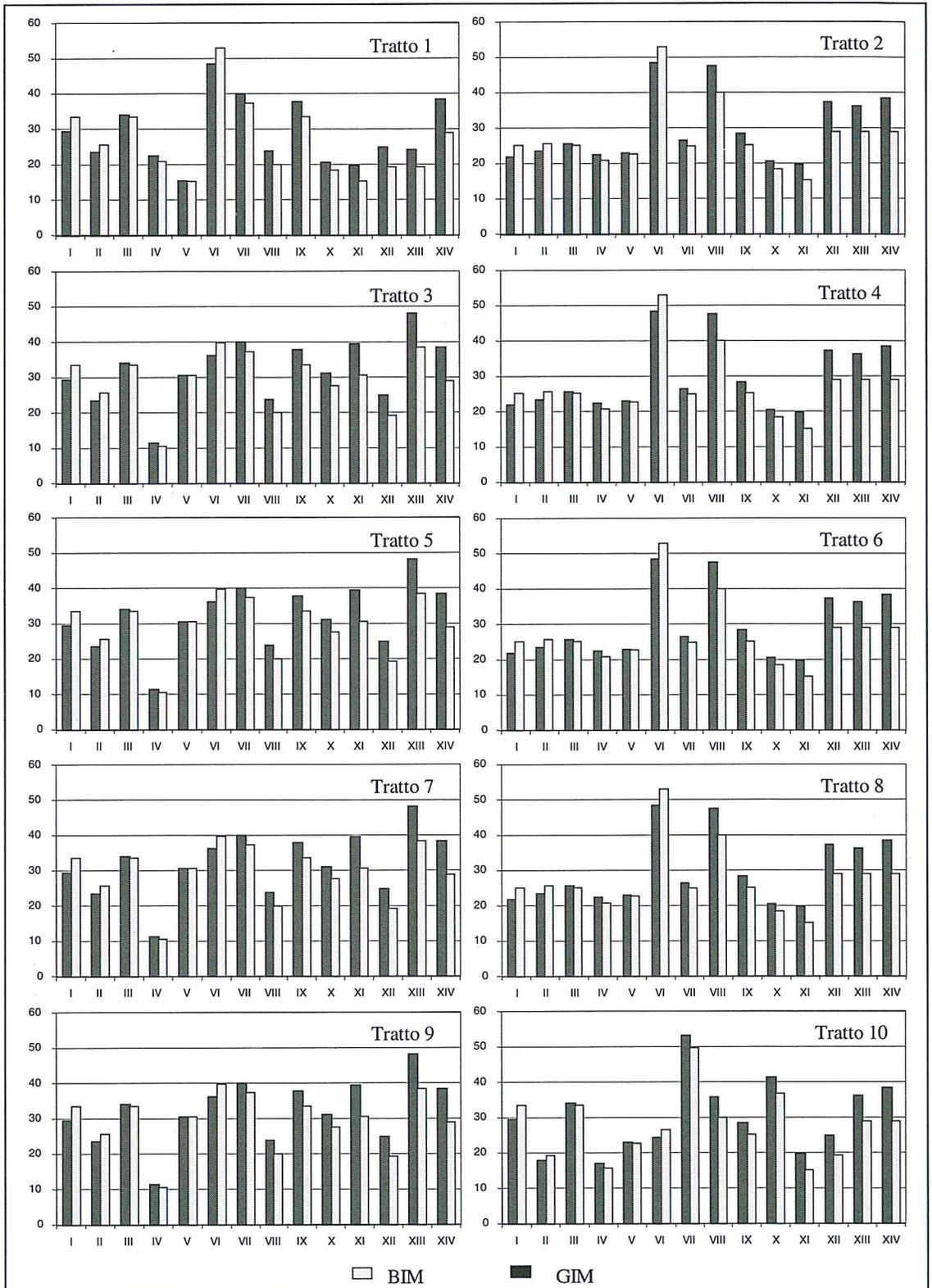


Figura 10 - Diagrammi a barre dell'interattività (ordinate) dei parametri del sistema spiaggia-duna (ascisse) relativi ai 10 tratti costieri selezionati.

Conclusioni

Nella gestione del litorale la valutazione della vulnerabilità e, in seconda istanza, del rischio si inserisce nel più ampio disegno di valutazione della sostenibilità ambientale.

E' quindi necessario un approccio valutativo che fornisca indicazioni di gestione preventiva fortemente aderenti alle peculiarità del sistema considerato.

L'utilità pratica della metodologia proposta risiede nella sua capacità di considerare congiuntamente i principali aspetti di un sistema, in funzione dello scopo predefinito. Anche se la sua applicazione può sembrare inizialmente macchinosa, in pratica dà ordine e cadenza alla ricerca. Agevola, inoltre, la comprensione di come i fattori che lo caratterizzano intervengono nell'evoluzione del sistema.

Le procedure della Teoria dei Sistemi obbligano i ricercatori, nella fase iniziale dello studio, ad un confronto tra differenti esperienze e discipline scientifiche, che è basilare per la comprensione dei fenomeni. La metodologia consente, inoltre, diversi livelli di precisione modificando il numero dei parametri a seconda dello scopo, senza però inficiare le analisi precedenti. Risulta facilmente adattabile ed esportabile, permettendo anche il contemporaneo uso di parametri calcolati e stimati. Infine, essa permette, in qualsiasi momento, di implementare la matrice senza modificare le precedenti interazioni binarie.

L'applicazione proposta consente di assegnare, attraverso l'indice di instabilità, una priorità nella sorveglianza delle dune. Ciò è stato definito non solo in funzione di alcune evidenze morfologiche, ma anche attraverso la definizione dei rapporti tra fattori e processi che concorrono all'evoluzione del sistema. La conoscenza della dominanza ed interattività dei parametri ha permesso, inoltre, di definire l'incisività degli interventi, nell'ambito dei rapporti spiaggia-duna.

La ricerca condotta stabilisce, nell'ambito di una valutazione generale ed in base alle variazioni puntuali dei parametri lungo il litorale, una ottimizzazione degli interventi. Ciò si traduce, in campo gestionale, in una maggiore potenzialità di stima, almeno in prima approssimazione, delle risposte di un sistema ad un intervento, la sua efficacia, validità ed impatto. I risultati ottenuti possono essere migliorati incrementando il numero dei parametri considerati ed eliminando l'uso di quelli stimati.

Ringraziamenti

Gli autori esprimono un vivo ringraziamento a J.A. Hudson e R. Dal Cin, per la lettura critica del testo e per i suggerimenti forniti. Un ringraziamento particolare a J.A. Hudson per il supporto offerto nell'elaborazione numerica della matrice globale ed un ulteriore doveroso ringraziamento a G.M. Gentile per la ricerca e l'elaborazione dei dati meteo-marini. Le ricerche sono state condotte con fondi 60% Simeoni e 40% Dal Cin.

Bibliografia

- Arens S.M. (1992) - *Transport of Sand into the Foredunes of Schiermonnikoog: Report on the Field Measurements 1990-1991*. Department of Physical Geography and Soil Science, University of Amsterdam. pp. 61.
- Arens S.M. e Wiersma J. (1994) - *The Dutch Foredunes: Inventory and Classification*. Journal of Coastal Research, 10: 189-202.
- Bagnold R.A. (1954) - *The physics of blown sand and desert dunes*. Chapman & Hall, London. pp. 265.
- Bennet R.J. e Chorley R.J. (1978) - *Environmental systems. Philosophy, analysis and control*. Methuen & Company. Limited., London, UK. pp.624.
- Blanc J.J. (1980) - *Sédimentologie dynamique des plages de Provence. Méthodologie et études d'impact*. Cent. Nat. pour l'exploitation des océans, Marseille, F. pp. 30.
- Bodéré J.C.L., Cribb R., Curr R.C.F., Davies P., Hallégouët B., Meur C., Pirou N., Williams A.T. e Yoni C. (1991) - *La gestion des milieux dunaires littoraux. Evaluation de leur vulnérabilité a partir d'une liste de controle. Etude de leur vulnérabilité a partir d'une liste de controle*. Etude cas dans le sud du Pays de Galles et en Bretagne Occidentale. Norois, 38, No. 151: 279-298.
- Chorley R.J. (1973) - *Geography as human ecology*. In: Chorley et al. Ed., *Directions in Geography*: 155-

169.

- Coastal Engineering Research Center (CERC) (1984). *Shore Protection Manual*. U.S. Army Corps of Engineers. United States Government Printing Office, Washington D.C. 3 volumes.
- Cooke R.U. e Warren A. (1973) - *Geomorphology in Desert*. University of California Press, Berkeley and Los Angeles.
- Crane D.A. (1963) - *Coastal flooding in Barnstable County, Cape Cod, Massachusetts*. Water Resources Commission. pp. 33-36.
- Dal Cin R. e Simeoni U. (1989) - *Zoning and vulnerability of the coasts: application to the Middle Adriatic*. Proceedings of Sixth Symposium on Coastal and Ocean Management, Coastal Zone 89, ASCE, New York, NY, USA. pp. 98-110.
- Dal Cin R. e Simeoni U. (1993) - *The distribution of sediments and the identification of residual materials on the sea-bottom Southern Marches (Italy)*. Marine Geology, 113: 273-281.
- Dal Cin R. e Simeoni U. (1994) - *A model for determining the classification, vulnerability and risk in the southern coastal zone of the Marche (Italy)*. Journal of Coastal Research, 10, 1: 18-29.
- Davis W.M. (1899). *The geographical cycle*. Geographical Journal, 14: 481-504.
- Dias Alveirinho J.M., Curr R.C.F., Davies P., Pereira A.R. e Williams A.T. (1994) - *Dune vulnerability and management: Portugal and north west Europe*. In: Soares De Carvalho, G. e Veloso Gomez, F. (eds), Littoral '94, EUROCOAST, Portugal: 837-848.
- Erchinger H.F. (1992) - *Conservation of barrier dunes as smooth, natural method of coastal protection on the East Friesian Island, Germany*. In: Carter, R.W.G.; Curtis, T.G.F., e Sheely-Skeffington, M.J. (eds), Coastal Dunes. Rotterdam, Brookfield: A.A. Balkema: 389-396.
- Feilberger A. e Jensen F. (1992). *Management and dune conservation of sand dunes in Denmark*. In: Carter, R.W.G.; Curtis, T.G.F., e Sheely-Skeffington, M.J. (eds), Coastal Dunes. Rotterdam, Brookfield: A.A. Balkema: 429-439.
- Gilbert G.K. (1877) - *Report on the geology of the Henry Mountain*. U.S. Geological Survey, U.S. Government Printing Office, Washington DC. pp.7-21.
- Goldsmith, V. (1985) - *Coastal Dunes*. In: Davis R.A. Jr., Coastal Sedimentary Environments. New York: Springer: 171-235.
- Gornitz V. e Kanciruk P. (1989) - *Assessment of global coastal hazards from sea level rise*. Charleston: Sixth Symposium on coastal and ocean management. Coastal Zone, 89: 1345-1359.
- Guza R.T. e Inman D.L. (1975) - *Edge waves and beach cusps*. Journal of Geophysical Research, 80: 2997-3012.
- Hesp P.A. (1989) - *A review of biological and geomorphological processes involved in the initiation and development of incipient foredunes*. Proceedings of the Royal Society of Edinburg, Edinburg, 96(B): 181-201.
- Hsu S.A. (1973). *Computing aeolian sand transport from shear velocity measurements*. Journal of Geology, 81: 739-743.
- Hudson J.A. (1992) - *Rock Engineering System*. Horwood Ellis (ed), Chichester, UK, pp.185.
- Jelgersma S., De Jong J.D., Zagwijn W.H. e Van Regteren Altena J.F. (1970) - *The coastal dunes of the western Netherlands; geology, vegetational history and archaeology*. Mededelingen Rijks Geologische Dienst, N.S., 21: 93-167.
- Jiao Y. e Hudson J.A. (1995) - *The fully-coupled model for rock engineering systems*. Int. J. Rock Mech. Sc. And Geomech. Abstr. 32, 5: 491-512.
- Komar P.D. (1976) - *Beach processes and geological hazard on the Oregon coast*. Newport, Oregon, Oregon Coastal Management Ass. Inc.
- Mazzini E. e Simeoni U. (1997) - *Instability in coastal areas: littorals, foredunes and beaches*. In: Marinos P.G., Koukis G.C., Tsiambaos G.C. e Stournaras G.C., Engineering Geology and the Environment: Proc. of the IAEG Symposium, Athens '97. Rotterdam, Brookfield: A.A. Balkema, 1: 261-266.
- McKee E.D. (1979) - *Introduction to a study of global sand seas*. In: McKee E.D. (ed.), A Study of Global

- Sand Seas. Washington: United States Government Printing Office. pp. 86-136.
- Meur C., Hallegouet B., e Bodéré J.C. (1992) - *Coastal dune management policies in France: the example of Brittany*. In: Carter R.W.G., Curtis T.G.F. e Sheely-skeffington M.J. (eds), Coastal Dunes. Rotterdam, Brookfield: A.A. Balkema: 419-428.
- Mitchell J.K. (1974). *Community response to coast erosion*. University of Chicago, Department of Geography Research Paper n. 156. pp. 64.
- Parea G.C. (1978) - *Trasporto dei sedimenti ed erosione lungo il litorale fra il Tronto ed il Fortore (Adriatico Centrale)*. Memorie della Società Geologica Italiana, 19: 361-367.
- Paskoff R. (1985) - *Les littoraux. Impact des aménagements sur leur évolution*. Ed. Masson, Paris. pp. 184.
- Paskoff R. (1993) - *Cotes en Danger*. Masson, Paris. pp. 249.
- Pye K. (1983) - *Coastal dunes*. Progress in Physical Geography, 7: 531-557.
- Pye K. (1990) - *Physical and human influences on coastal dune development between the Ribble and Mersey Estuaries, northwestern England*. In: Nordstrom K.F., Psuty N.P. e Carter B. (eds), Coastal Dunes, Form and Process. Chichester: Wiley: 339-359.
- Psuty N.P. (1989) - *An application of science to the management of coastal dunes along the Atlantic coast of the U.S.A.* Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, Edinburgh, 96(B): 289-307.
- Psuty N.P. (1992) - *Spatial variation in coastal foredune development*. In: Carter R.W.G., Curtis T.G.F. e Sheely-Skeffington M.J. (eds), Coastal Dunes. Rotterdam, Brookfield: A.A. Balkema: 3-14.
- Radley G.P. (1992) - *The dunes in England, an example of national inventory*. In: Carter R.W.G., Curtis T.G.F. e Sheely-Skeffington M.J. (eds), Coastal Dunes. Rotterdam, Brookfield, A.A. Balkema: 438-454.
- Ricketts P.J. (1986) - *National policy and management response to hazard of coastal erosion in Britain and United States*. Applied Geography, 6: 197-221
- Ricketts P.J. (1989) - *Coast erosion and community perceptions at Nye Beach, Oregon*. Proceedings of Sixth Symposium on coastal and ocean management. In: Magoon O.T., Converse H., Miner D., Tobin L.T. e Clark D. Coastal Zone, 89. ASCE, New York, 5: 899-914.
- Rowntree R.A. (1974) - *Coastal erosion: the meaning of natural hazard in the cultural and ecological context*. In: White, G.F., Ed., Natural Hazard. Oxford: Oxford University Press: 70-79.
- Sanjaume E. (1988) - *The dunes of Saler, Valencia, Spain*. Journal of Coastal Research Special Issue No. 3: 63-70.
- Sanjaume E. and Pardo J. (1992) - *The dune of the Valencian coast (Spain): Past and present*. In: Carter R.W.G., Curtis T.G.F. e Sheely-Skeffington, M.J.(eds), Coastal Dunes. Rotterdam, Brookfield: A.A. Balkema: 475-486.
- Simeoni U., Mazzini E. e Fontolan G. (1996) - *The System Theory aimed at the determination of a coastal instability index: a case study, the Atlantic side of the Straits of Magellan*. In: J. Taussik e J. Mitchell (eds), Partnership in Coastal Zone Management, Samara Publishing Limited, Cardigan, UK: 267-274.
- Simeoni U., Alverinho Dias J.M., De Bernardinis B., Garcia Novo F., Mazzini E., Tessari U., Trevisani A. e Vita M. (1998) - *Integrated management of the beach-dune system*. Proc. of the Coastlines 1997 Meeting, Naples (Italy) (in stampa).
- Simeoni U. e Bondesan M. (1997) - *The role and responsibility of man in the evolution of the Italian Adriatic coast*. In: F. Briand e A. Maldonado (eds), Transformations and evolution of the Mediterranean coastline, CIESM Science Series, Monaco, 3: 111-133.
- Simeoni U., Calderoni G., Tessari U. e Mazzini E. (1998) - *A new application of System Theory to fore-dunes intervention strategies*. Journal of Coastal Research 14(4)98: in stampa.
- Strahler A.N. e Strahler A.H. (1973) - *Environmental geoscience: interaction between natural systems and man*. Hamilton Publishing Company, Santa Barbara, California, USA. pp. 325.
- Swan S.B.ST.C. (1975). *A model for investigating the coast erosion hazard in Southwest Sri Lanka*. Berlin, Zeitschrift f. Geomorphologie N.F., Supplement-Band 22: 89-115.
- Tramonte R. (1955) - *Contributo allo studio delle acque sotterranee di Capitanata*. Parte II. Laterza & Figli, Bari, Italy. pp. 47.

- UNDRO (1982). *Natural disaster and vulnerability analysis*. Geneva: Office of United Nations Disaster Relief Co-ordinator.
- Van Der Meulen F. e Janssen J. (1992) - *Toward a monitoring programme for European coastal environment*. In: Carter R.W.G., Curtis T.G.F. e Sheely-Skeffington M.J.(eds), *Coastal Dunes*. Rotterdam, Brookfield: A.A. Balkema: 517-524.
- Van Zoest J. (1992) - *Gambling with Nature? A new paradigm of nature and its consequences for nature management strategy*. In: Carter R.W.G., Curtis T.G.F. e Sheely-Skeffington M.J.(eds), *Coastal Dunes*. Rotterdam, Brookfield: A.A. Balkema: 503-516.
- Williams A.T., Davies P., Curr R.C.F. e Bodéré J.CL. (1993) - *An approach to coastal dune management; the north and west coastline of France*. In: Ozhan E.(ed.), *MedCoast '93* . Ankara, Turkey: METU: 186-197.
- Wright L.D., Chappel J., Thom B.G., Bredshaw M.P. e Cowell P. (1979) - *Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore system: south-eastern Australia*. *Marine Geology*, 32: 105-140.
- Wright L.D., Guza G.T. e Short A.D. (1982) - *Dynamics of a high-energy dissipative surf zone*. *Marine Geology*, 45: 41-62.
- Wright L.D. e Short A.D. (1984) - *Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis*. *Marine Geology*, 56: 93-118.